



TITLE:

スペクトルインバージョンに基づく
強震動予測手法に関する研究(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

仲野, 健一

CITATION:

仲野, 健一. スペクトルインバージョンに基づく強震動予測手法に関する研究. 京都大学, 2020, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22407>

RIGHT:

許諾条件により本文は2021-03-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	仲野 健一
論文題目	スペクトルインバージョンに基づく強震動予測手法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>免震建物や超高層建物等の重要構造物の耐震設計においては、建設サイトにて適切な設計用入力地震動を評価する必要がある。一方、都市レベルの防災計画等の立案には、広域を対象とした面的かつ高密度な強震動予測が必要となる。いずれも、任意地点において簡便かつ高精度に地盤増幅の影響等を考慮可能な強震動予測手法の確立が課題である。本論文は、任意地点における強震動予測手法に関して、多数の強震観測データから震源・伝播経路・サイトの各影響を分離できるスペクトルインバージョン手法（GIT）に基づく強震動特性の評価およびそれらの特性を考慮した強震動予測手法を提案し、その検証を行った 7 章で構成されている。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と目的について説明している。まず、免震建物や超高層建物等の重要構造物の耐震設計時に検討が必要な設計用入力地震動に関して、その制度的・歴史的変遷について述べた後、現状の強震動予測手法の課題について総括した。そして、強震記録に基づいて GIT で精度よく評価される強震動特性を直接的に活用し、日本全国の任意地点を対象にした強震動予測手法を提案するための取り組みについて述べ、また、地盤非線形の影響を簡便に考慮する方策についても併せて示し、本論文で提案する手法の位置づけを明確にした。</p> <p>第 2 章では、GIT で強震動特性を評価するために必要となる公開されている日本全国の地震波形のデータセット構築手順を示すと共に、1988～2019 年までの約 30 年間に得られた強震波形を対象にしていることを記述した。そして、構築したデータセットに含まれる強震波形について、収集した機関毎の強震観測地点分布や震央分布を示し、主要な公的機関における日本全国の強震観測地点および日本全国で発生した多数の地震イベントを対象にしていることを併せて示した。これらによって、既往の研究よりも観測点・観測期間が増え、これまでにない幅広い組み合わせの震源距離・地震規模の地震波形を収集したことにより、より高精度で安定した強震動特性を評価出来る可能性を示した。</p> <p>第 3 章では、まず GIT の定式化や解析手順および解析条件について述べ、既往研究で対象とすることの多い強震波形のフーリエ振幅スペクトルだけでなく、擬似速度応答スペクトルやこれまでにほとんど求められたことのない群遅延時間の平均値およびその分散に対する定式化についても示した。また、GIT をそれぞれのスペクトルに適用し評価した強震動特性を整理し、既往研究と調和的である一方で、これまで震源や伝播の特性が得られていない地域でも安定した評価結果が得られていることを示した。さらに S 波部分を対象にした S 波サイト特性だけでなく、後続動（表面波など）の影響を含む全波サイト特性を評価し、それが堆積盆地の特徴と対応することを示した。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	仲野 健一
<p>第 4 章では、第 3 章で評価した強震動特性について、既往研究や既存の地下構造パラメータ等と比較することで、詳細な分析を行った。震源特性については、応力降下量の震源深さ依存性が地震タイプで連続的に変化することや、応力降下量の地域性が日本全国の広範囲に存在することを明らかにした。伝播特性については、既往研究と比較して整合していることを確認した。一方で、各地域の Q 値が単純な地域性だけでなく解析対象とする震源距離の範囲にも影響されることを明らかにした。サイト特性については、全国一次地下構造モデル等による基盤深さや卓越周期等の地下構造パラメータとの関係について議論し、フーリエ振幅スペクトルと擬似速度応答スペクトルに対しては相関がある一方で、群遅延時間に対しては相関が極めて弱いことを示した。</p> <p>第 5 章では、サイト特性に着目し、日本全国の任意地点を対象にした予測モデルを構築した。まず、地震波形の実体波成分に対する後続動（表面波など）の増幅率を抽出することで、任意地点で安定して予測可能な空間補間モデルを作成した。次に、表層地盤のひずみレベルでサイト特性の振幅値とピーク振動数を整理し簡便な非線形性予測モデルを構築した。これらに基づき、フーリエ振幅スペクトルを対象に、線形計算で求めた地表面での計算波形に地盤非線形の影響を簡便に考慮するための補正関数を提案した。</p> <p>第 6 章では、まず、前章までに提案した強震動特性に関する予測モデルに基づき、日本全国の任意地点を対象にした強震動予測手法を提案した。そして、提案手法の適用性を、2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震である茨城県沖の地震 (M_w 7.8) を対象にした強震動シミュレーションによって検証した。具体的には、観測波形と計算波形を波形の形状や最大値指標（最大加速度や最大速度）の他、フーリエ振幅スペクトル、擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトル等で比較し、振幅値やスペクトル形状が整合していることを確認した。また、GOF（Goodness-of-Fit）を用いて両者の適合度を定量的に評価し、観測波形と計算波形がよく一致していることを確認した。最後に、既往の浅部・深部統合地盤構造モデルを用いて、関東平野を対象に約 1km メッシュ（全 17,547 地点）での強震動シミュレーションを実施し、広域における強震動評価結果が、既往研究や地下構造モデルの空間分布の地震基盤深度等の特徴とよく対応することを示した。</p> <p>第 7 章では、各章で得られた成果をまとめ、前章までに議論した内容を踏まえて、最終的な結論を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

任意地点において簡便かつ高精度に地盤増幅の影響等を考慮可能な強震動予測手法の開発は、免震建物や超高層建物等の重要構造物の耐震設計の際の設計用入力地震動を検討する上で極めて重要である。本論文は、多数の強震観測データから震源・伝播経路・サイトの各影響を分離できるスペクトルインバージョン手法（GIT）に基づく強震動特性の評価およびそれらの特性を考慮した新たな強震動予測手法を提案し、その精度や有効性の検証を行った成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 日本全国の強震記録のフーリエスペクトルの振幅情報と位相情報を対象にした GIT により、強震動を構成する基本的な 3 つの強震動特性、すなわち震源、伝播経路、サイトの各特性をそれぞれ評価・分析した結果、震源特性のうち特に短周期域の振幅を支配する応力降下量や短周期レベル A に関する新たな平均値や回帰式を提示するとともに、その平均からの偏差が震源深さや地域性で説明できることを明らかにした。これは強震動予測式に応力降下量を考慮することの必要性・有効性を示唆する新しい知見である。
2. 強震動予測で特に振幅への影響が大きいサイト特性に関し、S 波部分のサイト特性だけでなく後続動（表面波など）の影響も考慮した全波サイト特性を評価することで、基盤深さや卓越周期等の地下構造パラメータに対する相関関係を明らかにし、強震動予測をする際の戦略立案に資する多くの有意義な示唆を提示した。また、サイト特性の空間補間モデルや地盤非線形の影響を簡便に考慮するための補正関数を構築し、これらに基づく新たな強震動予測手法を構築した。この手法により、日本全国の任意地点において、指定の想定起震断層による広帯域強震動波形を近傍観測データの平均的特性を反映しつつ高速に計算できるようになった。
3. 2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震である茨城県沖の M_w 7.8 の地震を対象にした強震動シミュレーションを実施し、観測波形と計算波形およびそれらのフーリエ振幅スペクトル等を比較することで、提案手法の妥当性を客観的に検証するとともに、適用上の課題を明らかにしている。

本論文では、強震動特性評価に関する新たな学術的知見を提供するのみならず、日本全国の任意地点における地盤増幅特性を定量的に考慮できる新しい強震動予測手法を提案しており、これらは今後の耐震設計および地震災害予測と対策に大きく貢献するもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 2 年 1 月 14 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。